

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-223761

(43)Date of publication of application : 11.08.2000

(51)Int.Cl. H01S 3/10
H01L 31/12
H01S 3/137

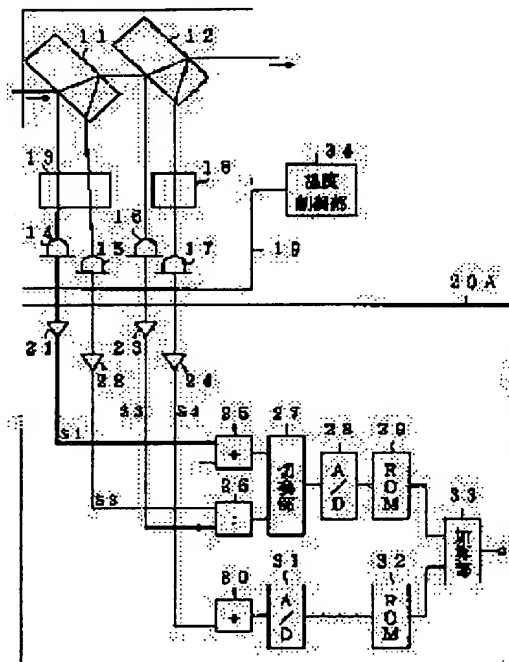
(21)Application number : 11-025826 (71)Applicant : SUN TEC KK
(22)Date of filing : 03.02.1999 (72)Inventor : IGAMI TAKESHI

(54) WAVELENGTH MONITOR AND LASER LIGHT SOURCE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength monitor accurately monitoring the wavelength of a light source and a laser light source using the wavelength monitor.

SOLUTION: An incident light from a light source is branched with a beam sampler 11, and two branch lights whose angles are slightly different are obtained. By making the branch lights enter an etalon 13, characteristics wherein phases of wavelength-transmittance characteristics are different from each other are obtained. Wavelength-transmittance characteristics are normalized, and the wavelength changing amount from a reference wavelength is calculated by using wavelength-transmittance curves excellent in mutual linearities. Transmission lights of the beam sampler 11 are branched with a beam sampler 12, and other two branch lights are obtained. The branch lights are directly received via a slope filter 18, and a reference wavelength of an incident light is obtained from wavelength-transmittance of the slope filter 18. The reference wavelength and the wavelength changing amount are added, and an accurate wavelength of the incident light is obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-223761

(P 2 0 0 0 - 2 2 3 7 6 1 A)

(43) 公開日 平成12年8月11日(2000.8.11)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-コード (参考)
H01S 3/10		H01S 3/10	5F072
H01L 31/12		H01L 31/12	H 5F089
H01S 3/137		H01S 3/137	

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全21頁)

(21) 出願番号 特願平11-25826

(22) 出願日 平成11年2月3日(1999.2.3)

(71) 出願人 591102693

サンテック株式会社

愛知県小牧市大字上末122番地

(72) 発明者 伊神 剛

愛知県小牧市大字上末122番地 サンテッ

ク株式会社内

(74) 代理人 100084364

弁理士 岡本 宜喜 (外1名)

Fターム(参考) 5F072 AB13 HH02 JJ20 KK07 KK08

KK30 RR01 YY20

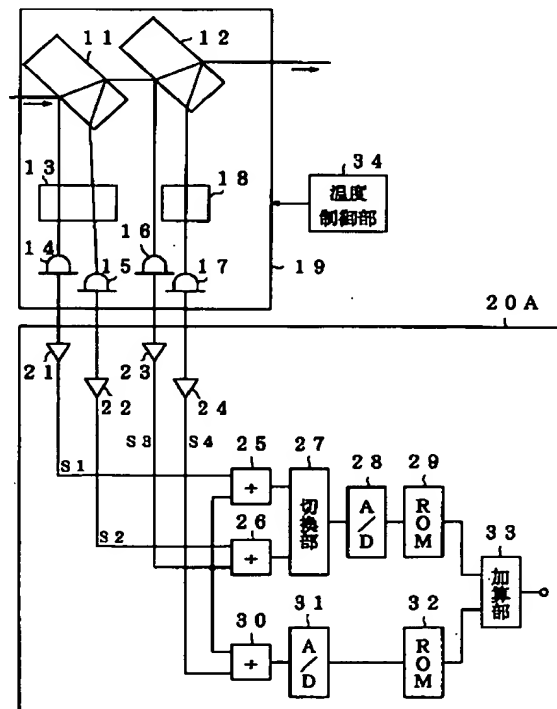
5F089 AA01 CA14 GA07

(54) 【発明の名称】 波長モニタ及びレーザ光源装置

(57) 【要約】

【課題】 光源の波長を正確にモニタする波長モニタとこれを用いたレーザ光源を提供すること。

【解決手段】 入射した光源からの光をビームサンプラ11で分岐し、わずかに角度の異なる2つの分岐光を得る。この分岐光をエタロン13に入射することによって、互いに波長-透過率特性の位相の異なる特性を得る。波長-透過率特性を正規化し、交互に直線性のよい波長-透過率曲線を用いて基準波長からの波長変化分を算出する。ビームサンプラ11の透過光をビームサンプラ12で分岐し、他の2つの分岐光を得る。その分岐光を直接及びスロープフィルタ18を介して受光し、スロープフィルタ18の波長-透過率から入射光の基準波長を得る。そして基準波長と波長変化分とを加算して、入射光の正確な波長を得るようにしている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1～第n ($n \geq 3$) の分岐光を得る第1の光分岐部と、

入射光の一部を分岐し、第n+1、第n+2の分岐光を得る第2の光分岐部と、

周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1～第nの分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、

前記エタロンを透過した第1～第nの分岐光を光電変換する第1～第nの光電変換部と、

入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特性を有し、前記第n+2の分岐光が入射されるスロープフィルタと、

前記第n+1の分岐光及び前記スロープフィルタを透過した第n+2の分岐光を光電変換する第n+1、第n+2の光電変換部と、

前記第1～第nの分岐光を前記第n+1の分岐光で割算することによって夫々正規化する第1～第nの割算部と、

前記第1～第nの割算部の出力のうち所定範囲の出力値の1つを選択する切換部と、

前記第n+2の分岐光を第n+1の分岐光で割算することによって正規化する第n+1の割算部と、

前記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、

前記第n+1の割算部の出力に基づいて前記エタロンの周期的な波長-透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、

前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、を具備することを特徴とする波長モニタ。

【請求項2】 入射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1、第2の分岐光を得る第1の光分岐部と、

入射光の一部を分岐し、第3、第4の分岐光を得る第2の光分岐部と、

周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1、第2の分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、

前記エタロンを透過した第1、第2の分岐光を光電変換する第1、第2の光電変換部と、

入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特性を有し、前記第4の分岐光が入射されるスロープフィルタと、

前記第3の分岐光及び前記スロープフィルタを透過した第4の分岐光を光電変換する第3、第4の光電変換部と、

前記第1、第2の分岐光を前記第3の分岐光で割算する

ことによって夫々正規化する第1、第2の割算部と、前記第1、第2の割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、

前記第4の分岐光を第3の分岐光で割算することによって正規化する第3の割算部と、

前記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、

前記第3の割算部の出力に基づいて前記エタロンの周期的な波長-透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、

前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、を具備することを特徴とする波長モニタ。

【請求項3】 前記エタロンは、第1、第2の分岐光に対する波長-透過率特性の位相差が $90^\circ \pm 10^\circ$ の範囲内にあることを特徴とする請求項2記載の波長モニタ。

【請求項4】 前記エタロンは、表面の反射率が10～20%の反射膜を有するエタロンであることを特徴とする請求項1又は2記載の波長モニタ。

【請求項5】 少なくとも前記第1～第nの光分岐部、前記エタロン及び前記スロープフィルタを保持する恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部とを更に有するものであることを特徴とする請求項1記載の波長モニタ。

【請求項6】 少なくとも前記第1、第2の光分岐部、前記エタロン及び前記スロープフィルタを保持する恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部とを更に有するものであることを特徴とする請求項2記載の波長モニタ。

【請求項7】 外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、

前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1～第nの分岐光を得る第1の光分岐部と、

入射光の一部を分岐し、第n+1、第n+2の分岐光を得る第2の光分岐部と、

周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1～第nの分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、

前記エタロンを透過した第1～第nの分岐光を光電変換する第1～第nの光電変換部と、

入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特性を有し、前記第n+2の分岐光が入射されるスロープフィルタと、

前記第n+1の分岐光及び前記スロープフィルタを透過した第n+2の分岐光を光電変換する第n+1、第n+2の光電変換部と、

前記第1～第nの分岐光を前記第n+1の分岐光で割算

することによって夫々正規化する第 1 ～第 n の割算部と、
 前記第 1 ～第 n の割算部の出力のうち所定範囲の出力値のうちの 1 つを選択する切換部と、
 前記第 n + 2 の分岐光を第 n + 1 の分岐光で割算することによって正規化する第 n + 1 の割算部と、
 前記エタロンの波長－透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、
 前記第 n + 1 の割算部の出力に基づいて前記エタロンの周期的な波長－透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、
 前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、
 前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御する光源駆動部と、を有することを特徴とするレーザ光源装置。
 【請求項 8】 外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、
 前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第 1、第 2 の分岐光を得る第 1 の光分岐部と、
 入射光の一部を分岐し、第 3、第 4 の分岐光を得る第 2 の光分岐部と、
 周期的な波長－透過率特性を有し、前記第 1 の光分岐部より出射される第 1、第 2 の分岐光に対して夫々波長－透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、
 前記エタロンを透過した第 1、第 2 の分岐光を光電変換する第 1、第 2 の光電変換部と、
 入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特性を有し、前記第 4 の分岐光が入射されるスローブフィルタと、
 前記第 3 の分岐光及び前記スローブフィルタを透過した第 4 の分岐光を光電変換する第 3、第 4 の光電変換部と、
 前記第 1、第 2 の分岐光を前記第 3 の分岐光で割算することによって夫々正規化する第 1、第 2 の割算部と、
 前記第 1、第 2 の割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、
 前記第 4 の分岐光を第 3 の分岐光で割算することによって正規化する第 3 の割算部と、
 前記エタロンの波長－透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、
 前記第 3 の割算部の出力に基づいて前記エタロンの周期的な波長－透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、
 前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、
 前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光

波長を設定値となるように制御する光源駆動部と、を有することを特徴とするレーザ光源装置。

【請求項 9】 外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、
 前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第 1 ～第 n の分岐光を得る第 1 の光分岐部と、
 入射光の一部を分岐し、第 n + 1 の分岐光を得る第 2 の光分岐部と、
 周期的な波長－透過率特性を有し、前記第 1 の光分岐部より出射される第 1 ～第 n の分岐光に対して夫々波長－透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、
 前記エタロンを透過した第 1 ～第 n の分岐光を光電変換する第 1 ～第 n の光電変換部と、
 前記第 n + 1 の分岐光を光電変換する第 n + 1 の光電変換部と、
 前記第 1 ～第 n の分岐光を前記第 n + 1 の分岐光で割算することによって夫々正規化する第 1 ～第 n の割算部と、
 前記第 1 ～第 n の割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、
 前記エタロンの波長－透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、
 離散的な発光波長データ及び前記波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、
 前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御すると共に、前記エタロンの波長－透過率特性のいずれかの基準波長データを前記加算部に出力する光源制御部と、を有することを特徴とするレーザ光源装置。
 【請求項 10】 外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、
 前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第 1、第 2 の分岐光を得る第 1 の光分岐部と、
 入射光の一部を分岐し、第 3 の分岐光を得る第 2 の光分岐部と、
 周期的な波長－透過率特性を有し、前記第 1 の光分岐部より出射される第 1、第 2 の分岐光に対して夫々波長－透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、
 前記エタロンを透過した第 1、第 2 の分岐光を光電変換する第 1、第 2 の光電変換部と、
 前記第 3 の分岐光を光電変換する第 3 の光電変換部と、
 前記第 1、第 2 の分岐光を前記第 3 の分岐光で割算することによって夫々正規化する第 1、第 2 の割算部と、
 前記第 1、第 2 の割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、
 前記エタロンの波長－透過率特性の各周期毎に所定の基

準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、

離散的な発光波長データ及び前記波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、

前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御すると共に、前記エタロンの波長-透過率特性のいずれかの基準波長データを前記加算部に出力する光源制御部と、を有することを特徴とするレーザ光源装置。

【請求項 11】 入射光の一部を分岐し、第 $n+3$ の分岐光を得る第 $n+1$ の光分岐部と、

前記第 $n+3$ の光分岐部からの分岐光を受光する光電変換部と、

前記第 $n+3$ の光電変換部の出力に基づいて前記波長可変光源の出力レベルを一定に保つ出力制御部と、を更に有することを特徴とする請求項 7 又は 9 記載のレーザ光源装置。

【請求項 12】 入射光の一部を分岐し、第 5 の分岐光を得る第 3 の光分岐部と、

前記第 5 の光分岐部からの分岐光を受光する光電変換部と、

前記第 5 の光電変換部の出力に基づいて前記波長可変光源の出力レベルを一定に保つ出力制御部と、を更に有することを特徴とする請求項 8 又は 10 記載のレーザ光源装置。

【請求項 13】 前記波長可変光源は、外部に共振器を有する外部共振型波長可変光源であることを特徴とする請求項 7～12 のいずれか 1 項記載のレーザ光源装置。

【請求項 14】 前記エタロンは、第 1、第 2 の分岐光に対する波長-透過率特性の位相差が $90^\circ \pm 10^\circ$ の範囲内にあることを特徴とする請求項 8 又は 10 記載のレーザ光源装置。

【請求項 15】 少なくとも前記第 1～第 n の光分岐部、及び前記エタロンを保持する恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部とを更に有するものであることを特徴とする請求項 7 又は 9 記載のレーザ光源装置。

【請求項 16】 少なくとも前記第 1、第 2 の光分岐部、及び前記エタロンを保持する恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部とを更に有するものであることを特徴とする請求項 8 又は 10 記載のレーザ光源装置。

【請求項 17】 前記エタロンは、表面の反射率が 10～20%の反射膜を有するエタロンであることを特徴とする請求項 7～16 のいずれか 1 項記載のレーザ光源装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はレーザ光源の波長を

モニタする波長モニタ装置及びこれを用いたレーザ光源装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来発光波長を制御できるレーザ光源装置としては、分布帰還型のレーザダイオードを用いてその電流や温度等を制御し、例えば数 nm の範囲で波長を変化させるようにしたレーザ光源装置が知られている。又外部共振器を用いて共振波長を変化させることにより、より広い発光波長を制御できるようにしたレーザ光源装置や、波長制御領域を持ったモノシック型の半導体レーザ等によるレーザ光源装置が知られている。

【0003】 又レーザ光の波長をモニタする波長モニタ装置としては、透過波長が連続的に変化するスロープフィルタを用い、このフィルタを透過するレベルに基づいて波長を計測するようにした波長モニタも用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかるにこのような従来のレーザ光源装置における波長制御は、分布帰還型半導体レーザを用いた光源にあっては電流や周囲温度等の制御量と発光波長との関係をあらかじめ認識しておき、所望の発光波長に応じて制御量を変化させるようにしたオープンループによる制御方式が用いられている。又外部共振器型レーザ光源装置にあっては、共振波長の制御量と発光波長との関係をあらかじめ認識しておき、所望の発光波長に応じて制御量を変化させるようにしたオープンループによる制御方式が用いられている。

【0005】 近年光通信の分野では、1本の光ファイバに多数の波長のレーザ光を同時に伝送する波長多重通信方式が用いられようとしている。このような波長多重通信方式によれば、限られた波長帯域内にチャンネル数を多くするためには、各チャンネルの波長を正確に規定すると共に、チャンネル間で波長間隔をできるだけ狭くして波長多重を行う必要がある。そのため波長多重通信用のレーザ光源には高い波長設定精度が求められている。しかるに従来の波長可変型レーザ光源では、オープンループ制御系の分解能や再現性等によって設定した波長の精度が決まってしまう。しかしオープンループ制御系を高分解能や高精度とすると、装置が大がかりで高価格になる。しかもオープンループ制御系では、十分な精度、分解能が得られないという欠点があった。そこで高精度でレーザ光源の波長を制御するためには、広帯域の発光波長を高精度で確認することができる波長モニタ装置が求められている。

【0006】 一般的に波長を広帯域で且つ高精度で測定するためにマイケルソン干渉計による光波長計が知られている。しかしマイケルソン干渉計は装置自体が大きく、高価格で測定速度が遅いという欠点があった。又狭帯域の波長範囲ではエタロンを用いて波長モニタを構成することが考えられる。エタロンによる波長モニタは小

型で可動部がなく、比較的簡単な構成とすることができ
る。しかしエタロンは波長に対して周期的に透過特性が
変化するため、測定範囲はエタロンの周期、即ちFSR
の範囲に限られてしまう。又FSRの範囲内でも透過特
性の両端の山及び谷の部分では分解能が低下するという
問題点があった。

【0007】更に発光波長の変化に対して透過光量が連
続して変化するスロープフィルタを用いてその透光量か
ら入射光の波長を検出するようにした波長モニタでは、
広帯域と高精度を両立させることが難しいという欠点が
あった。

【0008】本発明はこのような従来の問題点に鑑みて
なされたものであって、請求項1～4の発明は狭い波長
範囲で高分解能を有するエタロンを用いて、広帯域で正
確に波長を測定することができる波長モニタを提供する
ことを目的とする。又本願の請求項5～11の発明はこ
のような波長モニタを用いて広い所定帯域内の任意の波
長を高精度で設定することができ、レーザ光を発光する
ことができるレーザ光源装置を提供することを目的とす
る。

【0009】

【課題を解決するための手段】本願の請求項1の発明
は、入射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異な
った第1～第n ($n \geq 3$) の分岐光を得る第1の光分岐
部と、入射光の一部を分岐し、第n+1、第n+2の分
岐光を得る第2の光分岐部と、周期的な波長-透過率特
性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1～第
nの分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれ
た出力をするエタロンと、前記エタロンを透過した第1
～第nの分岐光を光電変換する第1～第nの光電変換部
と、入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特
性を有し、前記第n+2の分岐光が入射されるスロープ
フィルタと、前記第n+1の分岐光及び前記スロープフ
ィルタを透過した第n+2の分岐光を光電変換する第n
+1、第n+2の光電変換部と、前記第1～第nの分岐
光を前記第n+1の分岐光で割算することによって夫々
正規化する第1～第nの割算部と、前記第1～第nの割
算部の出力のうち所定範囲の出力値の1つを選択する切
換部と、前記第n+2の分岐光を第n+1の分岐光で割
算することによって正規化する第n+1の割算部と、前
記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準
波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算
出部と、前記第n+1の割算部の出力に基づいて前記エ
タロンの周期的な波長-透過率特性のいずれかの基準波
長を算出する波長算出部と、前記波長算出部及び波長変
化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長
を算出する加算部と、を具備することを特徴とするもの
である。

【0010】本願の請求項2の発明は、入射光の一部を
分岐し、平行状態から所定角度異なった第1、第2の分

岐光を得る第1の光分岐部と、入射光の一部を分岐し、
第3、第4の分岐光を得る第2の光分岐部と、周期的な
波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射
される第1、第2の分岐光に対して夫々波長-透過率特
性の位相のずれた出力をするエタロンと、前記エタロン
を透過した第1、第2の分岐光を光電変換する第1、第
2の光電変換部と、入射波長に対する透過率特性が連続
的に変化する特性を有し、前記第4の分岐光が入射され
るスロープフィルタと、前記第3の分岐光及び前記スロ
ープフィルタを透過した第4の分岐光を光電変換する第
3、第4の光電変換部と、前記第1、第2の分岐光を前
記第3の分岐光で割算することによって夫々正規化する
第1、第2の割算部と、前記第1、第2の割算部の出力
のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、前
記第4の分岐光を第3の分岐光で割算することによって
正規化する第3の割算部と、前記エタロンの波長-透過
率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長
変化分を算出する波長変化分算出部と、前記第3の割算
部の出力に基づいて前記エタロンの周期的な波長-透過
率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、
前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算する
ことによって入射光の波長を算出する加算部と、を具備
することを特徴とするものである。

【0011】スロープフィルタとしては、入射光の波長
に対する透過率特性が単調に変化し、その分解能がエタ
ロンの周期的な透過率変化以上の分解能を有するフィル
タを用いるものとする。第1～第nの割算部、切換部、
波長変化分算出部、波長算出部、加算部はハードウェア
によって構成してもよく、又マイクロコンピュータを用
いてソフトウェア処理によって実現することもできる。

【0012】本願の請求項3の発明は、請求項1の波長
モニタにおいて、前記エタロンは、第1、第2の分岐光
に対する波長-透過率特性の位相差が $90^\circ \pm 10^\circ$ の
範囲内にあることを特徴とするものである。

【0013】本願の請求項4の発明は、請求項1又は2
の波長モニタにおいて、前記エタロンは、表面の反射率
が10～20%の反射膜を有するエタロンであることを
特徴とするものである。

【0014】本願の請求項5の発明は、請求項1の波長
モニタにおいて、少なくとも前記第1～第nの光分岐
部、前記エタロン及び前記スロープフィルタを保持する
恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部
とを更に有することを特徴とするものである。

【0015】本願の請求項6の発明は、請求項2の波長
モニタにおいて、少なくとも前記第1、第2の光分岐
部、前記エタロン及び前記スロープフィルタを保持する
恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部
とを更に有することを特徴とするものである。

【0016】本願の請求項7の発明は、外部からの制御
信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源

と、前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1～第nの分岐光を得る第1の光分岐部と、入射光の一部を分岐し、第n+1、第n+2の分岐光を得る第2の光分岐部と、周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1～第nの分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、前記エタロンを透過した第1～第nの分岐光を光電変換する第1～第nの光電変換部と、入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特性を有し、前記第n+2の分岐光が入射されるスロープフィルタと、前記第n+1の分岐光及び前記スロープフィルタを透過した第n+2の分岐光を光電変換する第n+1、第n+2の光電変換部と、前記第1～第nの分岐光を前記第n+1の分岐光で割算することによって夫々正規化する第1～第nの割算部と、前記第1～第nの割算部の出力のうち所定範囲の出力値のうちの1つを選択する切換部と、前記第n+2の分岐光を第n+1の分岐光で割算することによって正規化する第n+1の割算部と、前記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、前記第n+1の割算部の出力に基づいて前記エタロンの周期的な波長-透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御する光源駆動部と、を有することを特徴とするものである。

【0017】本願の請求項8の発明は、外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1、第2の分岐光を得る第1の光分岐部と、入射光の一部を分岐し、第3、第4の分岐光を得る第2の光分岐部と、周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1、第2の分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、前記エタロンを透過した第1、第2の分岐光を光電変換する第1、第2の光電変換部と、入射波長に対する透過率特性が連続的に変化する特性を有し、前記第4の分岐光が入射されるスロープフィルタと、前記第3の分岐光及び前記スロープフィルタを透過した第4の分岐光を光電変換する第3、第4の光電変換部と、前記第1、第2の分岐光を前記第3の分岐光で割算することによって夫々正規化する第1、第2の割算部と、前記第1、第2の割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、前記第4の分岐光を第3の分岐光で割算することによって正規化する第3の割算部と、前記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、前記第3の割算部の出力

に基づいて前記エタロンの周期的な波長-透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部と、前記波長算出部及び波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御する光源駆動部と、を有することを特徴とするものである。

【0018】本願の請求項9の発明は、外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1～第nの分岐光を得る第1の光分岐部と、入射光の一部を分岐し、第n+1の分岐光を得る第2の光分岐部と、周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1～第nの分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、前記エタロンを透過した第1～第nの分岐光を光電変換する第1～第nの光電変換部と、前記第n+1の分岐光を光電変換する第n+1の光電変換部と、前記第1～第nの分岐光を前記第n+1の分岐光で割算することによって夫々正規化する第1～第nの割算部と、前記第1～第nの割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、前記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、離散的な発光波長データ及び前記波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、前記加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御すると共に、前記エタロンの波長-透過率特性のいずれかの基準波長データを前記加算部に出力する光源制御部と、を有することを特徴とするものである。

【0019】本願の請求項10の発明は、外部からの制御信号によって発光する波長を変化させる波長可変光源と、前記波長可変光源からの出射光の一部を分岐し、平行状態から所定角度異なった第1、第2の分岐光を得る第1の光分岐部と、入射光の一部を分岐し、第3の分岐光を得る第2の光分岐部と、周期的な波長-透過率特性を有し、前記第1の光分岐部より出射される第1、第2の分岐光に対して夫々波長-透過率特性の位相のずれた出力をするエタロンと、前記エタロンを透過した第1、第2の分岐光を光電変換する第1、第2の光電変換部と、前記第3の分岐光を光電変換する第3の光電変換部と、前記第1、第2の分岐光を前記第3の分岐光で割算することによって夫々正規化する第1、第2の割算部と、前記第1、第2の割算部の出力のうち所定範囲の出力値を交互に選択する切換部と、前記エタロンの波長-透過率特性の各周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長変化分を算出する波長変化分算出部と、離散的な発光波長データ及び前記波長変化分算出部の出力を加算することによって入射光の波長を算出する加算部と、前記

加算部からの出力によって前記波長可変光源の発光波長を設定値となるように制御すると共に、前記エタロンの波長-透過率特性のいずれかの基準波長データを前記加算部に出力する光源制御部と、を有することを特徴とするものである。

【0020】本願の請求項11の発明は、請求項7又は9のレーザ光源装置において、入射光の一部を分岐し、第 $n+3$ の分岐光を得る第 $n+1$ の光分岐部と、前記第 $n+3$ の光分岐部からの分岐光を受光する光電変換部と、前記第 $n+3$ の光電変換部の出力に基づいて前記波長可変光源の出力レベルを一定に保つ出力制御部と、を更に有することを特徴とするものである。

【0021】本願の請求項12の発明は、請求項8又は10のレーザ光源装置において、入射光の一部を分岐し、第5の分岐光を得る第3の光分岐部と、前記第5の光分岐部からの分岐光を受光する光電変換部と、前記第5の光電変換部の出力に基づいて前記波長可変光源の出力レベルを一定に保つ出力制御部と、を更に有することを特徴とするものである。

【0022】本願の請求項13の発明は、請求項7～12のいずれか1項のレーザ光源装置において、前記波長可変光源は、外部に共振器を有する外部共振型波長可変光源であることを特徴とするものである。

【0023】本願の請求項14の発明は、請求項8又は10のレーザ光源装置において、前記エタロンは、第1、第2の分岐光に対する波長-透過率特性の位相差が $90^\circ \pm 10^\circ$ の範囲内にあることを特徴とするものである。

【0024】本願の請求項15の発明は、請求項7又は9のレーザ光源装置において、少なくとも前記第1～第 n の光分岐部、及び前記エタロンを保持する恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部とを更に有することを特徴とするものである。

【0025】本願の請求項16の発明は、請求項8又は10のレーザ光源装置において、少なくとも前記第1、第2の光分岐部、及び前記エタロンを保持する恒温層と、該恒温層を所定範囲の温度に保つ温度調整部とを更に有することを特徴とするものである。

【0026】本願の請求項17の発明は、請求項7～16のいずれか1項のレーザ光源装置において、前記エタロンは、表面の反射率が10～20%の反射膜を有するエタロンであることを特徴とするものである。

【0027】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）次に本発明の第1の実施の形態による波長モニタについて説明する。この実施の形態による波長モニタは光源からのレーザ光の波長を計測して波長データを出力するものである。ここでは計測可能な波長範囲を1500～1600nmの範囲のレーザ光とする。まず入射光に向けて第1の光分岐部、例えばビームサンプラ11が設けられる。

ビームサンプラ11はほぼ平行なガラス平板から成り、出射面をわずかに、例えば 0.2° 入射面から傾けておき、入出射面が所定の反射率となるようにしたものである。ここでは入射面及び出射面の反射率を例えば1%とし、図中左端からの入射光に対して 45° の角度でビームサンプラ11を配置する。こうすればビームサンプラ11の入射面で反射した第1の分岐光、及びビームサンプラ11を透過し、内面で反射した第2の分岐光が得られる。このため第1、第2の分岐光は平行状態からわずかに角度の異なったものとなる。ビームサンプラ11の透過光は第2の光分岐部、例えばビームサンプラ12に入射される。ビームサンプラ12は平行なガラス平板によって構成されており、入射面と出射面の反射率をビームサンプラ11と同じく1%とする。こうすればその入射面及び反射面からも夫々第3、第4の分岐光が得られる。ビームサンプラ11からの第1、第2の分岐光はエタロン13に入射される。エタロン13は入射光である第1、第2の分岐光のうちの一方をその表面に対して垂直に、他方の分岐光をこれよりわずかに異なった角度で入射する位置に配置しておく。エタロン13は例えば厚さ1mmのガラス板の両面に入射光の約 $1/8$ λの2層の反射膜を施したソリッドエタロンであり、ここでは例えば15%程度の低い反射率の反射膜としている。

【0028】そしてエタロン13を透過した第1の分岐光を受光する位置に第1の受光素子、例えばフォトダイオード14を配置し、エタロン13を透過した第2の分岐光を受光する位置に第2の受光素子、例えばフォトダイオード15を配置する。又前述したビームサンプラ12の表面で反射した第3の分岐光の受光位置に第3の受光素子であるフォトダイオード16を配置する。その内面で反射した第4の分岐光の受光位置に第4の受光素子であるフォトダイオード17を配置する。又ビームサンプラ12とフォトダイオード17の間には、スロープフィルタ18を配置する。スロープフィルタ18は入射光の波長範囲で透過率が単調に変化し、その波長-透過率特性が既知のフィルタである。スロープフィルタ18は入射光の波長を大まかに決定するために用いられる。これらの光学素子は温度を所定値に保つため恒温層19内に収納しておくものとする。

【0029】さてフォトダイオード14～17の出力は夫々信号処理部20A内の受光増幅器21～24に与えられる。受光増幅器21～24は光信号を電気信号に変換し、増幅するものであり、夫々フォトダイオード14～17と共に第1～第4の光電変換部を構成している。受光増幅器21の出力は割算器25に、受光増幅器22の出力は割算器26に、受光増幅器23の出力は割算器25と26に与えられる。割算器25は第1のビームサンプラ11から反射した第1の分岐光を第2のビームサンプラ12から反射した基準となる第3の分岐光で割算することによって、その出力を正規化するものである。

割算器 26 は第 1 のビームサンプラ 11 から反射した第 2 の分岐光を第 2 のビームサンプラ 12 から反射した基準となる第 3 の分岐光で割算することによって、その出力を正規化するものである。これらの割算器 25、26 の出力は切換部 27 に与えられる。切換部 27 は 2 つの割算出力からピーク部分を除いて双方の出力を切換えることにより、エタロン 13 の直線性のよい領域を交互に使用するものである。切換部 27 の出力は A/D 変換器 28 に入力される。A/D 変換器 28 は入力をデジタル信号に変換するものであり、リードオンリメモリ（以下、ROM という）29 はこのデジタル値をアドレス信号として後述するように所定の周期内の波長変化分を出力するものである。ここで A/D 変換器 28 及びリードオンリメモリ 29 は、エタロンの波長-透過率特性の周期毎に所定の基準波長からの入射光の波長からの変化分を算出する波長変化分算出部を構成している。

【0030】一方受光増幅器 23、24 の出力は夫々割算器 30 に与えられる。割算器 30 は第 4 の分岐光を第 3 の分岐光のレベルで割算して正規化するものであり、その割算出力が A/D 変換器 31 に与えられる。A/D 変換器 31 の出力はスロープフィルタ 18 の特性を正規化したデジタル値となる。ROM 32 にはスロープフィルタ 18 の正規化された透過率-波長特性があらかじめ保持されており、A/D 変換器 31 の出力は ROM 32 にアドレス信号として与えられる。A/D 変換器 31 と ROM 32 とは、第 3 の割算部の出力に基づいてエタロンの波長-透過率特性のいずれかの基準波長を算出する波長算出部を構成している。ROM 32 で読出された波長データは加算器 33 に与えられる。又加算器 33 はこれらの ROM 29、31 の出力を加算することによって、入射した光の波長を算出して出力するものである。

$$T = \frac{1}{1 + A \sin^2 \frac{\delta}{2}}$$

但し A は反射率 R によって次式 (2) に示すように表される。

$$A = \frac{4R}{(1-R)^2}$$

δ はエタロン 13 の屈折率を n 、その厚さを L 、エタロン 13 への入射角度を θ 、エタロンへの入射光の波長を

$$\delta = \frac{4\pi n L \cos \theta}{\lambda}$$

【0033】前述したようにエタロン 13 の反射率 R を例えば 0.15 とすると、式 (1) で示される透過率特性はサインカーブに近くなる。従って割算器 25 から得られる正規化出力は図 2 (a) に示すものとなる。又同様に割算器 26 から得られる正規化出力は、図 2

(b) に示すものとなる。これらの透過率特性は、位相

又恒温層 19 内の各光学素子は温度制御部 34 によって所定温度となるように保持しておくものとする。

【0031】次に本実施の形態による波長モニタの動作について説明する。測定対象となるレーザビームが光ファイバ又は空間を介してビームサンプラ 11 に入射すると、その一部の光が表面で反射され、残りが透過する。そして透過した光のうち出射面でその一部が反射され、表面を透過する。これらの第 1、第 2 の分岐光がいずれもエタロン 13 に入射され、エタロン 13 を介してフォトダイオード 14、15 で受光される。又ビームサンプラ 11 を透過した光は第 2 のビームサンプラ 12 に入射し、その一部が表面で反射され、第 3 の分岐光となり、残りが透過する。透過光のうち一部がその出射面で反射されて表面を透過し、第 4 の分岐光となる。第 3 の分岐光はフォトダイオード 16 により、第 4 の分岐光はスロープフィルタ 18 を介してフォトダイオード 17 により受光される。

【0032】第 1～第 4 の分岐光のレベルを I1～I4、これを光電変換して受光増幅器 21～24 から得られる出力を S1～S4 とする。ここで前述したようにエタロン 13 は 15% 程度の低い反射率の反射膜を施しているため、表面反射光の波長に対する特性は周期的に変動し、その周期はエタロンのフリースペクトラムレンジ (FSR) によって定まる。この FSR を 100 GHz としておく、変動周期は約 0.8 nm となる。この場合にはエタロンの反射レベル I1 に対する特性を反射レベル I3 によって正規化すると、受光レベル I1、I2 は周期的に変動する。エタロン 13 の透過率 T は境界面の反射率を R とすると、次式 (1) で算出される。

【数 1】

$$\dots\dots\dots (1)$$

【数 2】

$$\dots\dots\dots (2)$$

λ とすると、次式 (3) で示される。

【数 3】

$$\dots\dots\dots (3)$$

が約 90° ずれたものとなっている。この位相のずれはエタロン 13 への入射光である第 1、第 2 の分岐光の角度差に対応している。この透過率特性の位相差を 90° とするために、ビームサンプラ 11 の表面と裏面とを平行から 0.2° 傾けて構成している。

【0034】さて切換部 27 は割算器 25、26 の出力

から図2に太く示す分解能のよい部分を交互に切換える。即ちある波長 λ_1 , λ_5 , $\lambda_9 \dots$ においてエタロン13を透過する反射光I1の透過率がピーク、正規化された値Aが即ち1.0であり、この位置から0.4nm離れた波長 λ_3 , λ_7 , $\lambda_{11} \dots$ では透過率が最も低く、例えば0.7であるとする。 λ_1 と λ_5 , λ_5 と λ_9 の間隔は前述のように0.8nmとなる。切換器27は透過率が0.956~0.744の範囲であれば割算器25の出力を選択し、その他の値であれば割算器26の出力を選択する。その場合には割算器26が透

過率0.956~0.744の範囲に入っている。こうすれば入射光の波長によって交互に太く示す分解能の高い割算出力を切換えることができる。

【0035】一方スロープフィルタ18は、入射可能な波長範囲1500~1600nmにおいて単調に変化するスロープ状の波長-透過率特性を有しているものとする。フォトダイオード16, 17で第3, 第4の分岐光を受光し、受光増幅器23, 24によって出力S3, S4に変換する。そして割算器30によって第4の分岐光のレベルS4を第3の分岐光のレベルS3で割算することによって、スロープフィルタ18の特性を正規化することができる。図3(a)はこの正規化されたスロープフィルタ18の全体の特性、図3(b)はその一部分の拡大図を示しており、正規化後の特性に基づいて入射光の波長をおおまかに算出できる。A/D変換器31はこれをデジタル値に変換し、ROM32からデジタル値に対応した離散的な波長データ λ_1 , λ_2 , $\lambda_3 \dots$ を

読出すことによって、図2(a)又は(b)に示すエタロンの透過特性の極大値及び極小値のいずれかの波長を選択する。このときいずれかの割算器25, 26のい

ずれかの出力が選択されているかによって読出す波長を変化させる。例えば割算器25が選択されている場合には、そのときの波長-透過率特性から λ_1 , λ_3 , $\lambda_5 \dots$ に最も近く、短い側の波長のデータを基準波長 λ_r として読出す。例えば λ_5 から λ_7 の範囲内にある場合には基準波長 λ_r を λ_5 とする。そして割算器25の出力より λ_5 からの波長の変化分 $\Delta\lambda$ を算出する。又割算器26が選択されている場合には λ_2 , λ_4 , $\lambda_6 \dots$ に最も近く、短い側の波長のデータを読出す。例えば λ_2 から λ_4 の範囲内にある場合には基準波長 λ_r を λ_2 とする。そして割算器26の出力から λ_2 からの波長の変化分 $\Delta\lambda$ を算出する。こうして割算器25又は26の出力値である透過率に基づいて、基準波長 λ_r 例えば λ_5 又は λ_2 から相違した波長 $\Delta\lambda$ を読出すことができる。そして加算器33でこの基準波長 λ_r と $\Delta\lambda$ とを加算することによって、入射した光の波長を正確に算出して出力することができる。

率特性の立上り又は立下りのいずれかのスロープによって $\Delta\lambda$ の値を加算又は減算して正確な波長値を求めるようにしてもよい。又スロープフィルタ18は正確に λ_n のデータをそのまま保持しておいてもよい。又これに代えて、それ以上の分解能を有する多数の波長に対する透過率特性を保持しておき、図2に示す2つの波長-透過率特性のピーク値を直線補間等によって算出するようにしてもよい。また可変波長範囲が広く、図2(a),

(b)に示すエタロンの波長-透過率特性の周期が一定値でなく、周期が波長に応じて変化する場合には、スロープフィルタ18より得られる波長の概略値によってその周期を変化しているものとして2つの波長-透過率特性を切換え、 $\Delta\lambda$ を算出するようにしてもよい。

【0037】又、この実施の形態ではエタロン13として反射率15%のコーティングを有するソリッドエタロンを用いている。エタロン13の反射率を大きくすれば透過率の変動幅は大きくなるが、サイン波状の波形からずれてきて2つの特性を組合せて波長のずれ分 $\Delta\lambda$ を算出する際の誤差が大きくなる。又反射率を小さくすればよりサイン波に近い透過特性となるが、振幅値が小さくなるため分解能が低下する。従ってこの反射率は例えば10~20%の範囲であることが好ましく、ここではエタロンの反射率を15%としている。又エタロンの厚さを例えば1mmとすることによってFSRを100GHzとすることができる。厚さをより大きくすれば透過特性の周期は短くなるが、スロープフィルタ18の分解能が悪ければ誤った位置を基準の波長としてしまう可能性がある。又エタロンの厚さを薄くすればエタロンの波長-透過率特性の周期が長くなり、波長検出の分解能が低下する。従って透過特性の例えば周期は0.75~0.85nmの範囲とすることが好ましい。更にエタロンはソリッドエタロンだけでなく、一対の平行平板から成る空隙エタロンであってもよい。又エタロン13より得られる波長-透過率特性の位相差は、交互に直線性のよい部分を用いるために $90^\circ \pm 10^\circ$ の範囲内の位相差とすることが好ましく、 90° の位相差とすることが最も好ましい。

【0038】(第2の実施の形態)次に本発明の第2の実施の形態について説明する。図4は第2の実施の形態による波長モニタの構成を示すブロック図である。この実施の形態では信号処理部20Bにマイクロプロセッサ(CPU)を用いて波長を算出するようにしたものである。本図において図1と同一部分は同一符号を付して詳細な説明を省略する。この実施の形態では前述した第1の実施の形態と同様に、フォトダイオード14~17の出力は受光増幅器21~24に与えられ、各受光増幅器の出力はA/D変換器41~44に入力され、デジタル値に変換される。そしてインターフェース45を介してマイクロプロセッサ46に入力される。マイクロプロセッサ46は後述する割算処理や出力の切換処理及び波長

の加算処理を行うものである。マイクロプロセッサ 46 には処理プログラムを保持する RAM 47、及び前述したエタロン 13 の波長-透過率特性を保持すると共に、スロープフィルタ 18 の透過率特性のデータを保持する ROM 48 が接続されている。マイクロプロセッサ 46 はこれらのプログラム及びデータに基づいて波長データを算出し、出力インターフェース 49 を介して外部に出力するものである。

【0039】図 5、図 6 はこのマイクロプロセッサ 46 の動作を示すフローチャートである。マイクロプロセッサ 46 が処理を開始すると、まずステップ 51 において各 A/D 変換器 41～44 の出力を取り込む。受光増幅器 21～24 の夫々の出力を S1～S4 とする。そしてステップ 52 に進んで A/D 変換した値 S1、S2、S4 を夫々 S3 によって正規化して A、B、C とする。図 2 に示すようにこの正規化した値 A、B はエタロン 13 によってサイン波状の波長-透過率特性が得られているが、その位相は 90°ずれている。次いでステップ 53 において A のレベルから所定の計数 α を乗じてスケール調整を行い、オフセット成分 β を加えて A' を得る。又同様に B のレベルから所定の計数 α を乗じてスケール調整を行い、オフセット成分 β を加えて B' を得る。こうして A'、B' が ± 1 の範囲内で変化するように変換する。

【0040】次いでステップ 54 に進んで正規化された値 C をスロープフィルタ 18 の波長-透過率特性にあてはめ、入射光の概略波長を算出する。ここではレーザ光源で発振する波長の変化分を拡大した数値 I を用いる。発振可能な最小波長を λ_{11} 、最大波長を λ_{12} とし、発振波長 λ とすると、数値 I を次式 (4) で示す。

$$I = (\lambda - \lambda_{11}) \times 100 \quad \dots (4)$$

$$\frac{dL}{dI} = \frac{\pi}{H}$$

従って $I = 0$ のときの角度を L_0 とすると、発振可能な最小波長 λ_{11} から発振波長 λ までの角度変化を積分し

$$\begin{aligned} \int dL &= L = \int \frac{\pi}{H} dI \\ &= \frac{\pi}{D_0} \log(D_0 I + H_0) - L_0 \end{aligned}$$

..... (6)

..... (7)

【0043】そして発振している波長での角度 L_1 は $I = 0$ から透過率特性の正又は負のピーク値までの角度 L_2 と微小角度 ΔL との和となる。ステップ 54 で求めた概略の数値 I_1 を式 (7) に代入して概略の角度 L_1 を得る。1 周期 ($=\pi$) にそれぞれ 1 つの正及び負のピー

$$N = \text{int} \left(\frac{L_1}{\pi/2} \right)$$

..... (8)

角度 L_2 はこのピーク数 N を用いて次式のように表される。

こうすれば最小波長 λ_{11} では数値 $I = 0$ となる。又 λ_{12} が 1500 nm、 λ_{11} が 1600 nm であれば、 λ_{11} のときの数値は $I = 10000$ となる。そして前述したように、正規化した値 C から、図 3 に基づいて概略波長に相当する数値 I_1 を求める。

【0041】次いでステップ 55 において、変換した値 A' が下限値 k_1 ～上限値 k_2 の範囲内かどうかを判別する。ここで下限値 k_1 は λ_2 、 λ_3 の中間の切換レベル、上限値 k_2 は λ_1 、 λ_2 の中間の切換レベルであり、図 7 に示すように夫々約 -0.7、0.7 である。この範囲内にあれば、ステップ 56 以下において変換した値 A' と I_1 を用いて発振波長 λ を算出する。以下この手順について詳細に説明する。

【0042】まず式 (1) の透過率変化が、数値 I に対して図 2 に示されるようにサイン波で近似できるものとし、サイン波の周期を π として後述するようにその角度 L を算出する。但し比較的広い波長範囲内では、発振波長 λ の変化によって透過率特性の周期 H (nm) も変化する。図 8 (a) は数 nm の範囲内の透過率特性の一例を示すグラフである。ここでは数値 I に対して透過率特性の周期 H は、 $I = 0$ のときの初期周期を H_0 、変化分を D_0 とし、図 8 (b) 及び式 (5) に示すように直線的に変化するものと近似する。

$$H = D_0 I + H_0 \quad \dots (5)$$

例えば発光波長が 1500 nm から 1600 nm に変化したとき、その周期は約 0.75 nm ～ 0.85 nm の範囲で変化する。従って発振可能な最小波長 λ_{11} からの角度 L に対する透過率を図 7 で表すものとする、角度 L と数値 I、周期 H の間には次式 (6) が成り立つ。

【数 4】

て、 L と I の間には次式 (7) の関係が成り立つ。

【数 5】

クがあることから、次式 (8) のようにそのときの角度 L_1 を整数化することによって、ピーク数 N が求められる。

【数 6】

$$L_2 = N \cdot (\pi/2) + L_0 \quad \dots (9)$$

【0044】次いでステップ 57 において、選択した

A' を用いて、正のピーク値から発振している波長までの角度 L_1 を算出する。こうすれば発振波長の角度 L_1 は、 L_1 、 L_2 を用いて次式 (10) 又は (11) で算出される。N が奇数の場合、図 8 (c) に示すように

$$L_1 = L_2 + \Delta L \\ = L_2 + L_1 \quad \dots (10)$$

N が偶数の場合

$$L_1 = L_2 + \Delta L \\ = L_2 + (\pi/2) - L_1 \quad \dots (11)$$

となる。即ち透過率特性が正又は負の場合に、夫々の波長までの角度 L_1 は式 (10)、(11) で示される。ステップ 58 では L_1 を算出する。ステップ 59 においてこの角度 L_1 から再び正確な数値 I_c を求め、これを用いて波長と数値 I の換算式 (4) から正確な発振波長 λ を求めることができる。この場合、角度 L_2 に相当する波長が基準波長 λ_r となり、 ΔL に相当する波長を加算して発振波長を算出している。

【0045】又ステップ 55 において A' が $k_1 \sim k_2$ の範囲内になければ B' を選択し、ステップ 61 に進んでステップ 56 と同様に角度 L_2 を算出し、ステップ 62 において B' より角度 L_1 を算出する。そしてステップ 59 において同様にして発振波長の角度 L_1 を算出する。

【0046】こうして入射されたレーザ光の波長を算出し、ステップ 60 において出力インターフェース 49 を介して外部に出力する。こうすれば広い波長範囲で高精度で入射光の波長をモニタすることができる。

【0047】(第 3 の実施の形態) 次に本発明の第 3 の実施の形態による波長モニタ装置について説明する。図 9、図 10 は波長モニタ装置の構成を示すブロック図であり、前述した第 1、第 2 の実施の形態と同一部分は同一符号を付して詳細な説明を省略する。この実施の形態においては恒温層 19 内にビームサンプラ 11 の出力側にビームサンプラ 51 を設けて、入射光を互いに角度が異なるように第 1 ～ 第 3 の分岐光とする。その出射光をビームサンプラ 12 に入射し、その入射面及び出射面より第 4、第 5 の分岐光を得る。第 1 ～ 第 3 の分岐光は夫々光電変換器 14、15、52 により受光し、第 4、第 5 の分岐光は光電変換器 16、17 で受光する。光電変換器 52 の出力も図 10 に示すように受光増幅器 53 により増幅し、A/D 変換器 54 によって A/D 変換してインターフェース回路 45 を介してマイクロプロセッサ 46 に加える。この場合には図 11 (a) ～ (c) に示すように正規化した出力が互いに異なった位相差、例えば夫々 60° の位相差を有するようにエタロン 13 への入射角度を設定しておく。こうして 3 つの正規化された光電変換出力から中心付近の最もリニアリティの高い領域の出力を 1 つ選択する。こうすればより正確に入射光の波長を検出することができる。

【0048】この実施の形態では第 1 ～ 第 3 の入射光を

エタロンに入射するようにしているが、互いに角度の異なった第 1 ～ 第 n ($n \geq 3$) の入射光をエタロンに入射して同様の処理を行ってもよい。この場合には $n+1$ 、 $n+2$ の分岐光をスローブフィルタの特性検出用とする。

【0049】(第 4 の実施の形態) 次に第 4 の実施の形態によるレーザ光源装置について説明する。図 12 はレーザ光源装置の全体構成を示すブロック図であり、前述した実施の形態と同一部分は同一符号を付して詳細な説明を省略する。本図において波長可変光源 101 は外部からの制御信号によって発振波長を連続的に変化させることができるレーザ光源である。ここでは波長可変光源 101 は例えば分布帰還型のレーザダイオードとし、その電流や温度等を制御することによって、数 nm の波長の範囲で波長を変化させるものとする。発光したレーザ光は光バンドパスフィルタ 102 に導かれる。光バンドパスフィルタ 102 はレーザ光源のうち出射可能な範囲の波長のレーザ光を透過させるフィルタであり、このフィルタ 102 を通過した波長の光を前述した波長モニタの恒温層 19 内に保持されているビームサンプラ 11 に向けて照射する。恒温層 19 内の光学素子については前述した波長モニタと同様とする。即ちビームサンプラ 11 はほぼ平行なガラス平板から成り、出射面をわずかに、例えば 0.2° 入射面から傾けておき、入射面が所定の反射率となるようにしたものである。ここでは入射面及び出射面の反射率を例えば 1% とし、図中左端からの入射光に対して 45° の角度でビームサンプラ 11 を配置する。こうすればビームサンプラ 11 の入射面で反射した第 1 の分岐光、及びビームサンプラ 11 を透過し、内面で反射した第 2 の分岐光が得られる。このため第 1、第 2 の分岐光は平行状態からわずかに角度の異なったものとなる。ビームサンプラ 11 の透過光は第 2 の光分岐部、例えばビームサンプラ 12 に入射される。ビームサンプラ 12 は平行なガラス平板によって構成されており、入射面と出射面の反射率をビームサンプラ 11 と同じく 1% とする。こうすればその入射面及び反射面からも夫々第 3、第 4 の分岐光が得られる。ビームサンプラ 11 からの第 1、第 2 の分岐光はエタロン 13 に入射される。エタロン 13 は入射光である第 1、第 2 の分岐光のうち的一方をその表面に対して垂直に、他方の分岐光をこれよりわずかに異なった角度で入射する位置に配置しておく。エタロン 13 は例えば厚さ 1 mm のガラス板の両面に入射光の約 $1/8 \lambda$ の 2 層の反射膜を施したソリッドエタロンであり、ここでは例えば 15% 程度の低い反射率の反射膜としている。

【0050】そしてエタロン 13 を透過した第 1 の分岐光を受光する位置に第 1 の受光素子、例えばフォトダイオード 14 を配置し、エタロン 13 を透過した第 2 の分岐光を受光する位置に第 2 の受光素子、例えばフォトダイオード 15 を配置する。又前述したビームサンプラ 1

2の表面で反射した第3の分岐光の受光位置に第3の受光素子であるフォトダイオード16を配置する。その内面で反射した第4の分岐光の受光位置に第4の受光素子であるフォトダイオード17を配置する。又ビームサンプラ12とフォトダイオード17との間には、スロープフィルタ18を配置する。スロープフィルタ18は入射光の波長範囲で透過率が単調に変化し、その波長-透過率特性が既知のフィルタである。スロープフィルタ18は入射光の波長を大まかに決定するために用いられる。これらの光学素子は温度を所定値に保つため恒温層19内に収納しておくものとする。これらの素子は温度制御部34によって一定の温度に制御されている。

【0051】図13は制御装置103を示すブロック図である。制御装置103は前述した第2の実施の形態と同様に、フォトダイオード14~17の出力を増幅する受光増幅器21~24が設けられ、その出力をA/D変換するA/D変換器41~44、インターフェース45、及びマイクロプロセッサを46等を含んでいる。マイクロプロセッサ46は第2の実施の形態と同様に、入射光のレベルを正規化し、スロープフィルタ18とエタロン13との波長透過率特性に基づいて波長を検出するものである。波長モニタ部のビームサンプラ12の出力は光アッテネータ104を介して外部に出射される。更に制御装置103には波長設定部105が接続され、又光アッテネータ104のフォトダイオード104aが増幅器及びA/D変換器107を介して接続される。又出力インターフェース49にはレーザダイオード(LD)を駆動するレーザダイオード駆動部108、アッテネータ(ATT)駆動部109が接続されている。波長設定部105は発光波長と、その出力レベルを設定するものである。制御装置103は設定された波長となるように波長可変光源101の波長を制御し、出力レベルを所定値に設定するものである。光アッテネータ104は出力されるレーザ光のレベルを検出するフォトダイオード104a及び出力レベルの調整部を有し、出力レベルを制御装置103に帰還すると共に、制御装置103のアッテネータ駆動部109からの制御信号に基づいて出力レベルを所定値となるように減衰させるものである。

【0052】次に本実施の形態の動作について説明する。あらかじめ波長設定部105により波長可変光源101で発光可能な任意の波長と、その出力レベルを設定しておくものとする。こうすれば波長可変光源101より発光した波長がバンドパスフィルタ102を介して恒温層内のビームサンプラ11、12に入射され、前述したようにその発光波長が算出される。そして制御装置では前述した図5、図6のフローチャートと同様にして発光波長を算出する。そして発光波長と設定された波長との誤差を算出し、その誤差が0となるように波長可変光源の発光波長を制御する。又設定されたレベルとなるように光アッテネータ104の減衰比を制御する。こうす

れば前述した波長モニタを用いて正確にレーザ光源の発光波長を制御することができる。

【0053】(第5の実施の形態) 次に本発明の第5の実施の形態について図14のブロック図を用いて説明する。この実施の形態では恒温層19内に波長可変光源101と光バンドパスフィルタ102とを同時に収納するようにした点を除いて第4の実施の形態と同様とする。この場合には波長可変光源101の発光波長の制御は駆動電流を制御することによって行われる。こうすれば光源の温度制御を改めて行う必要がなく、レーザ光源装置の主要部を恒温層内に収納することができるため、極めて小型軽量化することが可能となる。

【0054】(第6の実施の形態) 次に本発明の第6の実施の形態について図15のブロック図を用いて説明する。この実施の形態では波長可変光源110として外部に共振器を有する外部共振型の光源を用いている。図中レーザダイオード111の左側端面には無反射コーティング(ARコーティング)が施されている。その左側の出射面側にはレンズ112及び回折格子113とこれに対して所定角度傾けた位置に配置されたミラー114が設けられ、これらによって外部共振器が構成されている。回折格子113は図示のように回転テーブル115上に配置されており、そのレーザ光の入射位置と入射角度とを変化させることによって、例えば100nmの範囲で発光波長を変化させることができる。レーザダイオード111の出射端側にはレンズ116及びアイソレータ117が設けられる。アイソレータ117は戻り光を抑圧するものである。アイソレータ117の出射端側には外部からの制御によって透過波長を変化させる光バンドパスフィルタ118及び波長モニタの光学部が配置されている。光バンドパスフィルタ118は特公平7-92530号に示されているように、ガラスやシリコン等のサブストレート上に多層膜を蒸着した干渉光フィルタであり、各層の光学厚さを $\lambda/4$ とし、その光学厚さを長手方向に連続的に変化させることによって、透過波長 λ を入射位置に応じて連続的に変化させるようにしたものである。そしてバンドパスフィルタ駆動部によりその入射位置を発光波長と一致するように変化させるものとする。その他の波長モニタの光学部については前述した第3の実施の形態と同様であり、ビームサンプラ11及び12、エタロン13、4つのフォトダイオード14~17、スロープフィルタ18が設けられ、フォトダイオード14~17の出力がマイクロプロセッサを含む制御装置120に入力される。又ビームサンプラ12を透過する位置に光アッテネータ121及びレンズ122を配置する。レンズ122は光ファイバコネクタ123を介して光ファイバ124にレーザ光を入射するものである。光ファイバ124にはファイバ125と融着させた分岐部126が設けられ、この分岐部126を通過したレーザ光が外部に出射される。光ファイバ125の一端

にはフォトダイオード 127 が設けられる。フォトダイオード 127 は分岐したレーザ光を電気信号に変換するものであり、その出力は制御装置 120 に与えられる。

【0055】図 16 は制御装置 120 の構成を示すブロック図であり、前述した第 2 の実施の形態と同一部分は同一符号を付して詳細な説明を省略する。この実施の形態ではフォトダイオード 127 からの出力が増幅器 106 及び A/D 変換器 107 を介してインターフェース 45 に入力される。又マイクロプロセッサ 46 からの出力が回転テーブル駆動部 131 及びアッテネータ駆動部 132 に与えられる。回転テーブル駆動部 131 は波長可変光源 111 の回転テーブルの回転角度やレーザダイオードからの距離を変化させることによって、発光波長を制御するものである。アッテネータ駆動部 132 は光アッテネータ 121 からの出力レベルを制御するものである。又バンドパスフィルタ駆動部 133 はそのときの発光波長が透過波長となるように光バンドパスフィルタ 118 に入射する入射光の入射位置を X 軸方向に変化させるものである。マイクロプロセッサ 46 には RAM 134、ROM 135 が接続されている。制御装置 120 は前述した第 4 の実施の形態と同様に、レーザ光源の発光波長を検出し、波長設定部 105 で設定された所定波長となるように制御する。そしてフォトダイオード 127 から得られる出力レベルが一定となるように、光アッテネータ 121 の減衰率又はレーザダイオード 111 に供給する電流値を制御すると共に、発光波長と光バンドパスフィルタ 118 との透過波長が一致するように入射位置を制御するものである。

【0056】この実施の形態では第 4 の実施の形態と同様に、波長設定部 105 よりレーザ光源の発光すべき波長が設定される。そして実際の発光波長を検出し、回転テーブル 115 の回転角度とレーザダイオード 111 との間隔によって発光波長を例えば 100 nm 程度の範囲で制御することによって波長制御を行う。尚この実施の形態においても、レーザダイオード 111 とレンズ 102、106、アイソレータ 117、光バンドパスフィルタ 118 と波長モニタの光学部とを同一の恒温層 128 内に保持しておき、その温度を一定に保つように制御することが好ましい。こうすれば温度変化にかかわらず、正確に設定された波長のレーザ光を出力することができる。

【0057】（第 7 の実施の形態）次に本発明の第 7 の実施の形態について説明する。図 17 はこの実施の形態によるレーザ光源装置の全体構成を示すブロック図である。前述した第 6 の実施の形態と同一部分は同一符号を付して説明を省略する。この実施の形態では前述した第 6 の実施の形態からスロープフィルタ 18 及び第 4 の受光素子であるフォトダイオード 17 や受光増幅器 24 を除いて構成したものである。光源の発光波長の概略値は回転テーブル 115 の回転角度によって既知であるた

め、制御装置 140 はこのデータを用いて正確な発光波長を算出し、所望の発光波長となるように制御することができる。

【0058】図 18、図 19 はこの実施の形態の動作を示すフローチャートである。制御装置 140 は動作を開始すると、まずステップ 141 において A/D 変換値を取り込む。そしてステップ 142 において A/D 変換値から第 2 の実施の形態と同様に正規化した値 A 及び B を算出する。この値は前述したように約サイン波状の波形を有している。そしてステップ 143 に示すように A、B のレベルから所定の係数 α を乗じてスケール調整を行い、オフセット成分 β を加えて A' 及び B' を算出する。そしてステップ 144 に進んでこのときの回転テーブル 115 の回転角度から図 20 に示すように回転角度に対応して変化する波長に対応する概略の数値 I_A を算出する。例えば回転テーブルを制御するモータをパルスモータとすると、パルスモータに出力するパルス数によって回転角度を算出することができる。こうして得られた回転角度に対応して発光波長の概略値に相当する数値 I_A を算出できる。そしてステップ 145 ~ 150 において、補正值 A' が所定の下限值 k_1 ~ 上限値 k_2 の範囲内であれば図 6 のステップ 56 ~ 60 と同様に A', I_A より λ を算出する。又 A' が k_1 ~ k_2 の範囲内になければ、ステップ 151、152 に進んで図 6 のステップ 61、62 と同様に B', I_A より λ を算出する。

【0059】次いでステップ 153 において設定波長 λ_s との差 $\Delta\lambda_{err}$ を算出し、ステップ 154 において差 $\Delta\lambda_{err}$ が 0 となるように回転テーブル駆動部 131 より波長制御信号を出力する。又このとき同時に設定された出力レベルとなるように光アッテネータ 121 の減衰率を変化させる。光アッテネータ 121 に代えてレーザダイオード 111 の出力レベルを制御するようにしてもよい。ここで制御装置 140 は、ステップ 144 及びステップ 153、154 において、波長可変光源の発光波長を設定値になるように制御すると共に、エタロンの波長-透過率特性のいずれかの基準波長データを読み出して加算部に出力する光源制御部の機能を有している。

【0060】このようにしてこの回転角度から離散的な波長値を算出し、この波長値をエタロンを介して得られる波長値と加算することによって、そのときの波長を算出することができる。この場合にはスロープフィルタやスロープフィルタを透過する第 4 の受光素子、受光増幅器を設ける必要がないため、構成を簡略化することができる。

【0061】

【発明の効果】以上詳細に説明したように本願の請求項 1 ~ 6 の発明によれば、その分解能のよい部分を交互に切換えて用いているため、高精度で広帯域の波長モニタを構成することができるという効果が得られる。又エタロンには低反射率のエタロンを用いているため、製作が

容易であり、安価に製造することができる。更に光学系部分を極めて小型化することができ、又可動部がないため信頼性を向上させることもできる。請求項 5, 6 の発明によれば、光学系の主要部品を恒温槽に保持し、一定温度に保っているため、温度変化の影響を受けない波長モニタとすることができる。又本願の請求項 7 ~ 16 のレーザ光源装置によれば、前述した波長モニタを用いて一定波長となるように正確に波長を制御することができる。又請求項 9, 10 の発明によれば、スロープフィルタを用いることがないため、構成を簡略化することができる。更に請求項 11, 12 の発明では、出力レベルを一定に保つことができる。更に請求項 13 では、外部に共振器を有する外部共振型レーザ光源装置を用いているため、広い範囲で波長を正確に制御することができるという効果が得られる。更に請求項 15, 16 の発明によれば、光学系の主要部品を恒温槽に保持し、一定温度に保っているため、温度変化の影響を受けないレーザ光源とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態による波長モニタ装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 2】本実施の形態によるエタロンの正規化された波長-透過率特性を示すグラフである。

【図 3】本発明の正規化されたスロープフィルタの波長-透過率特性を示すグラフである。

【図 4】本発明の第 2 の実施の形態による波長モニタ装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 5】本実施の形態による波長モニタ装置の動作を示すフローチャート（その 1）である。

【図 6】本実施の形態による波長モニタ装置の動作を示すフローチャート（その 2）である。

【図 7】本実施の形態による角度 θ に対する正規化された透過率の変化を示すグラフである。

【図 8】本実施の形態による波長と透過率の変化及びその周期を示すグラフである。

【図 9】本発明の第 3 の実施の形態による波長モニタ装置の光学部の構成を示すブロック図である。

【図 10】本発明の第 3 の実施の形態による波長モニタ装置の信号処理部の構成を示すブロック図である。

【図 11】本実施の形態によるエタロンの正規化された波長-透過率特性を示すグラフである。

【図 12】本発明の第 4 の実施の形態によるレーザ光源装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 13】本発明の第 4 の実施の形態によるレーザ光源装置の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 14】本発明の第 5 の実施の形態によるレーザ光源

装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 15】本発明の第 6 の実施の形態によるレーザ光源装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 16】本発明の第 6 の実施の形態によるレーザ光源装置の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 17】本発明の第 7 の実施の形態によるレーザ光源装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 18】本実施の形態によるレーザ光源装置の波長算出処理を示すフローチャート（その 1）である。

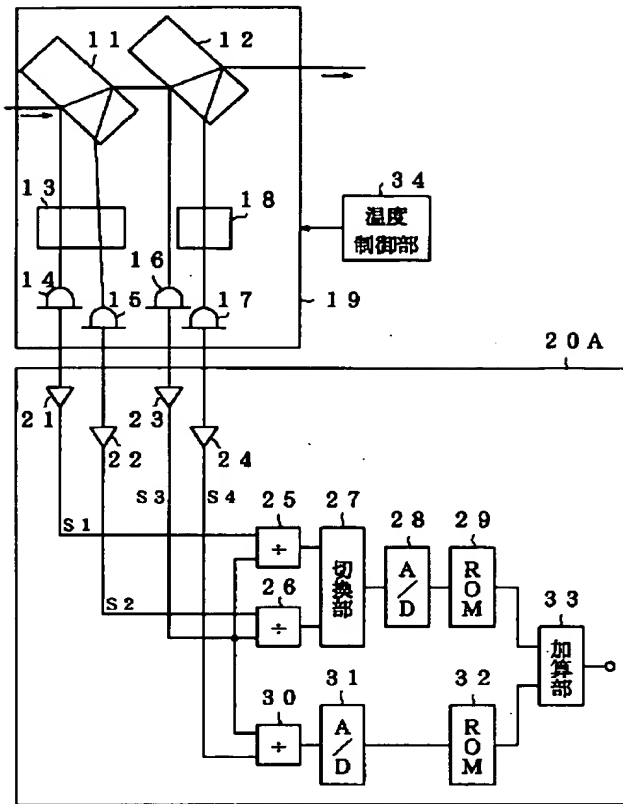
【図 19】本実施の形態によるレーザ光源装置の波長算出処理を示すフローチャート（その 2）である。

【図 20】本実施の形態によるモータの回転角度と波長との関係を示すグラフである。

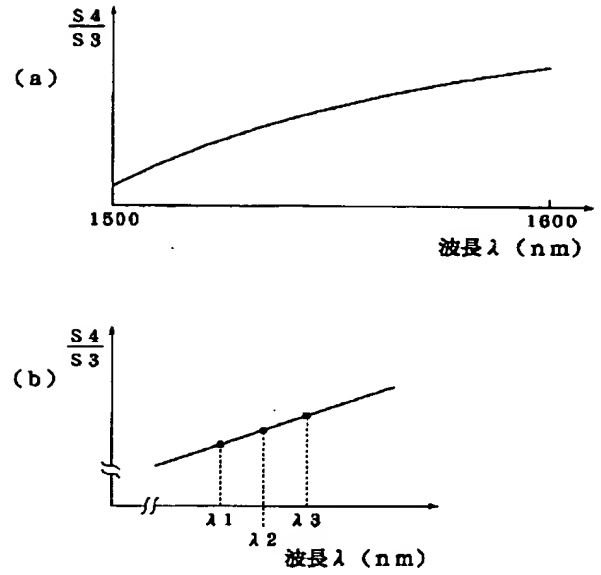
【符号の説明】

11, 12 ビームサンプラ
13 エタロン
14 ~ 17, 104a, 127 フォトダイオード
18 スロープフィルタ
19, 128 恒温層
20A, 20B 信号処理部
21 ~ 24, 106 受光増幅器
25, 26, 30 割算器
27 切換部
28, 31, 41 ~ 44, 107 A/D変換器
29, 32, 48 ROM
33 加算部
34 温度制御部
46 マイクロプロセッサ
47 RAM
101, 110 波長可変光源
102, 118 光バンドパスフィルタ
103, 120, 140 制御装置
104, 121 光アッテネータ
105 波長設定部
111 レーザダイオード
112, 116, 122 レンズ
113 回折格子
114 ミラー
115 回転テーブル
117 アイソレータ
124, 125 光ファイバ
126 融着部
131 回転テーブル駆動部
132 アッテネータ駆動部
133 光バンドパスフィルタ駆動部

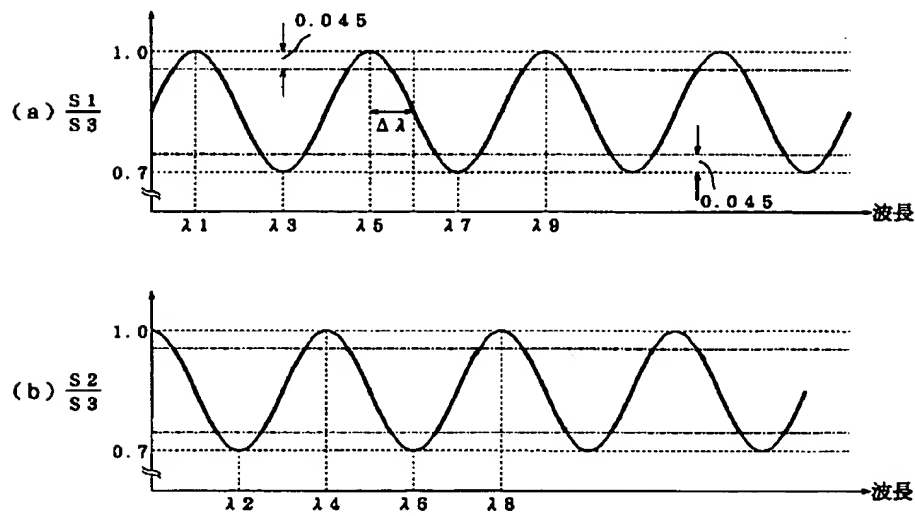
【図 1】



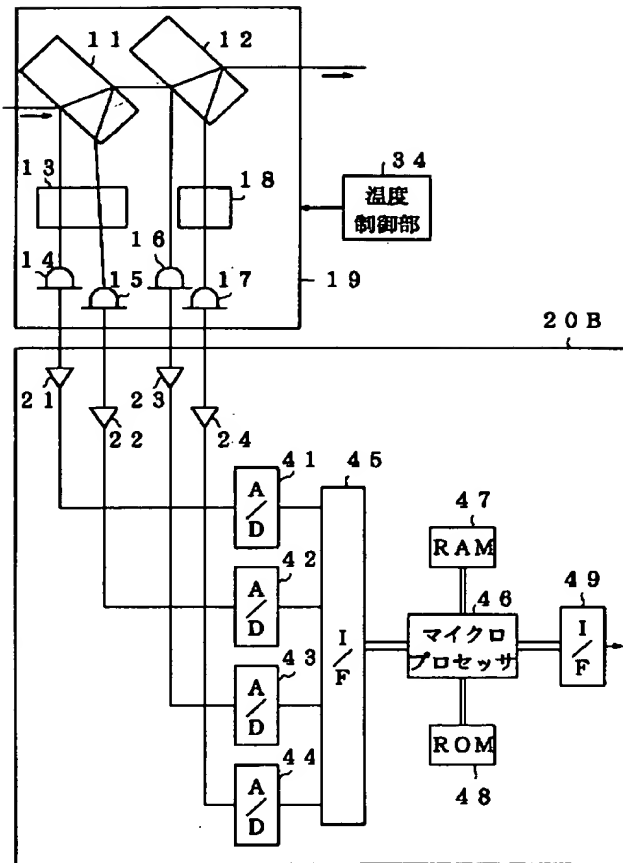
【図 3】



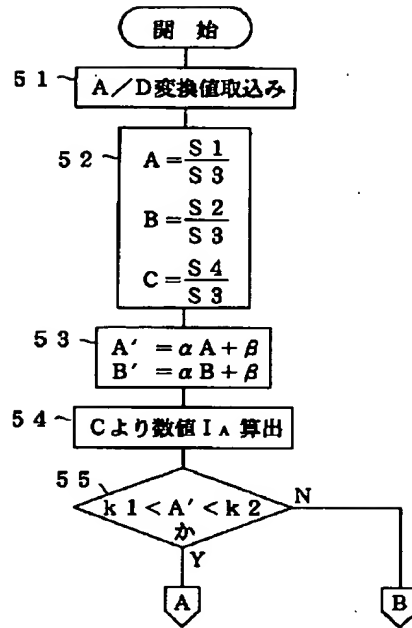
【図 2】



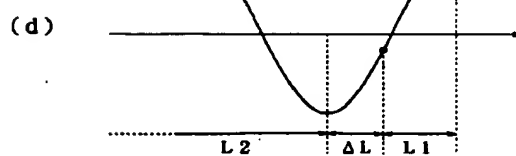
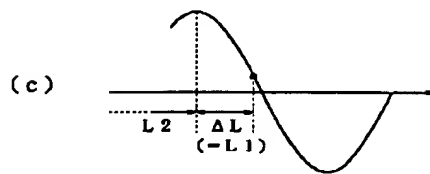
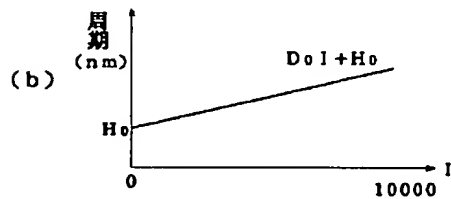
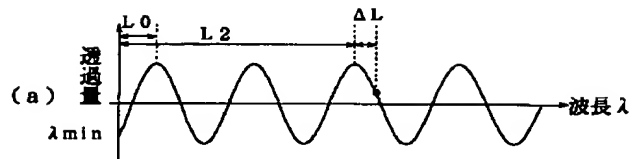
【図 4】



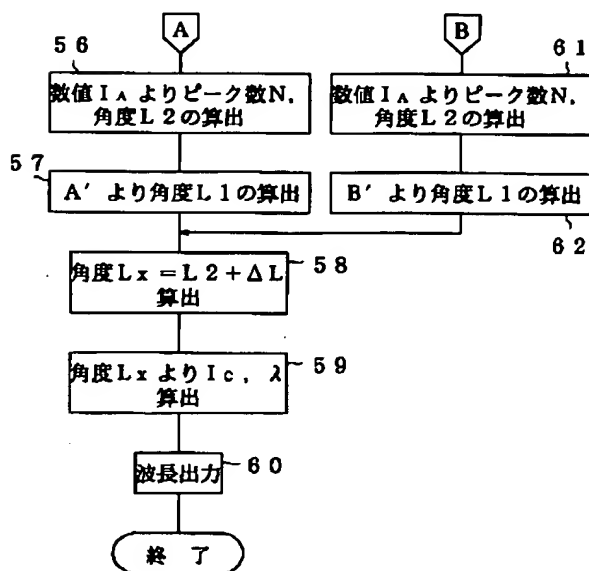
【図 5】



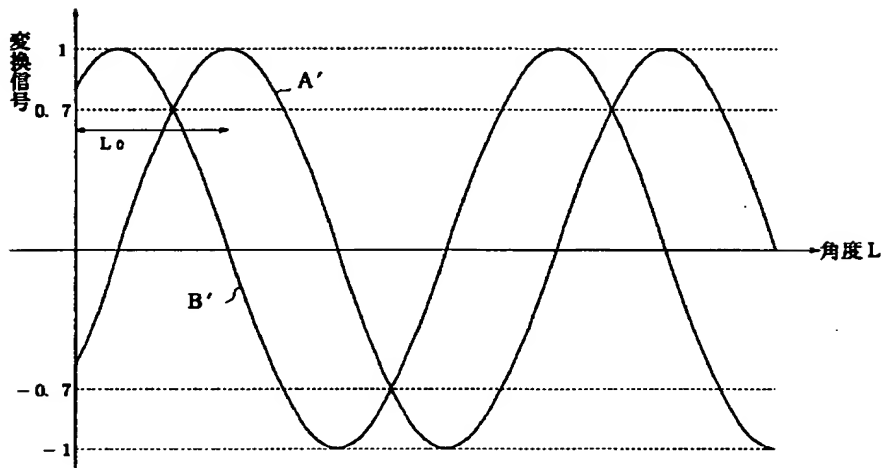
【図 8】



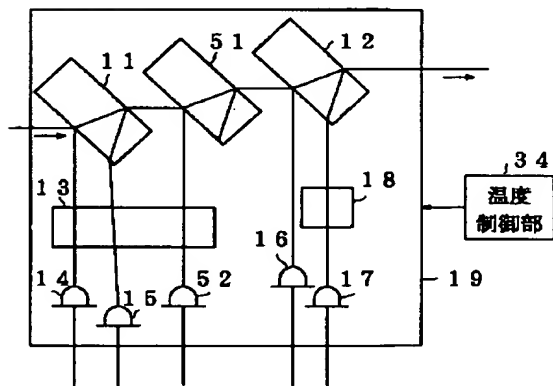
【図 6】



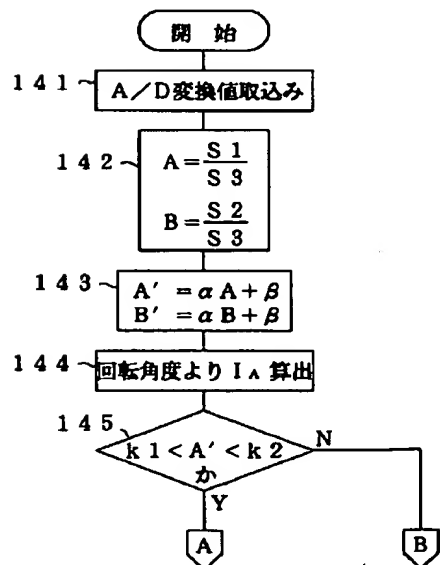
【図 7】



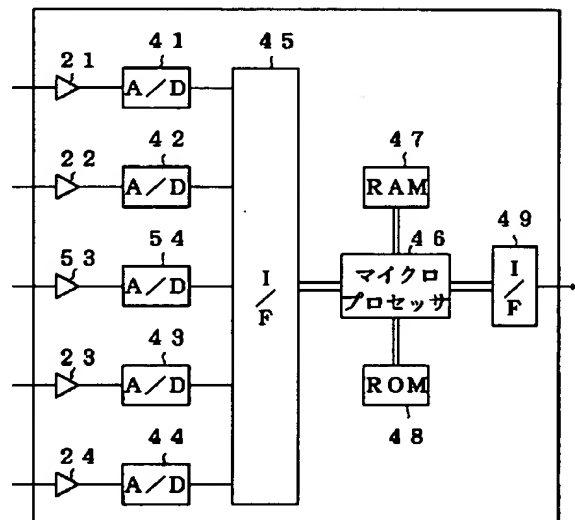
【図 9】



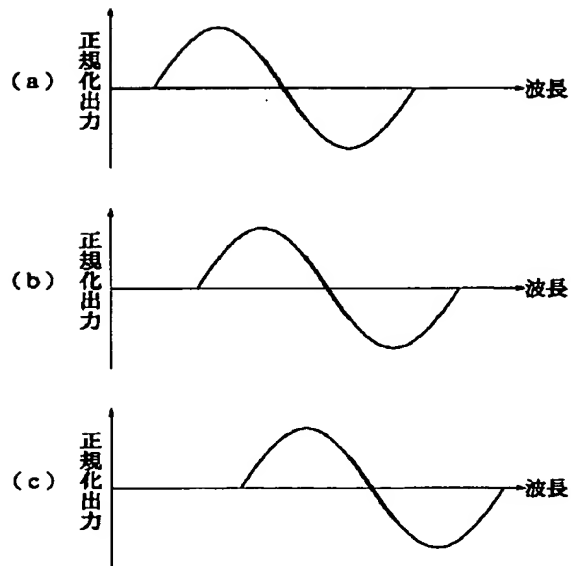
【図 18】



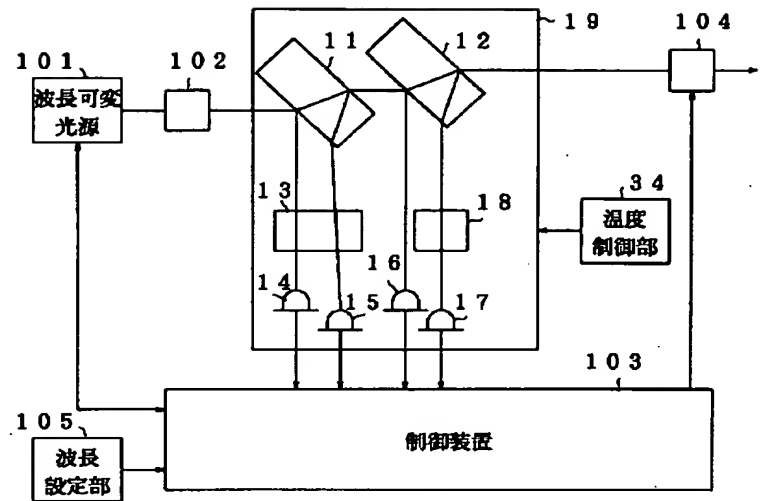
【図 10】



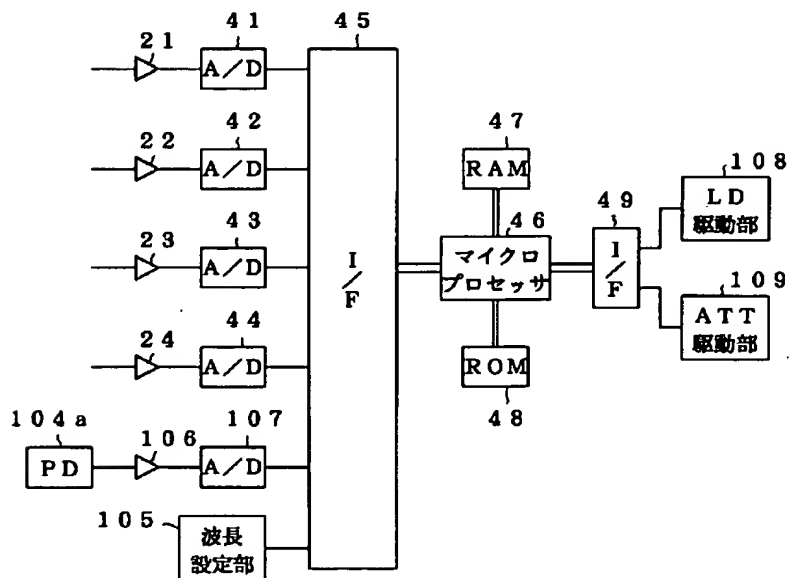
【図 11】



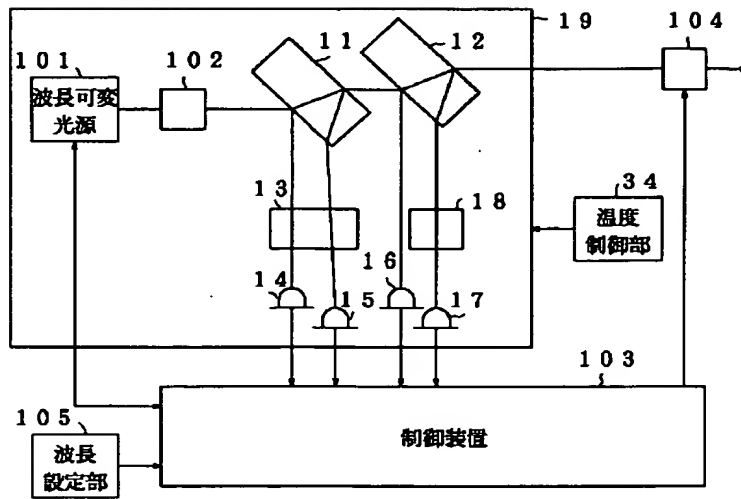
【図 12】



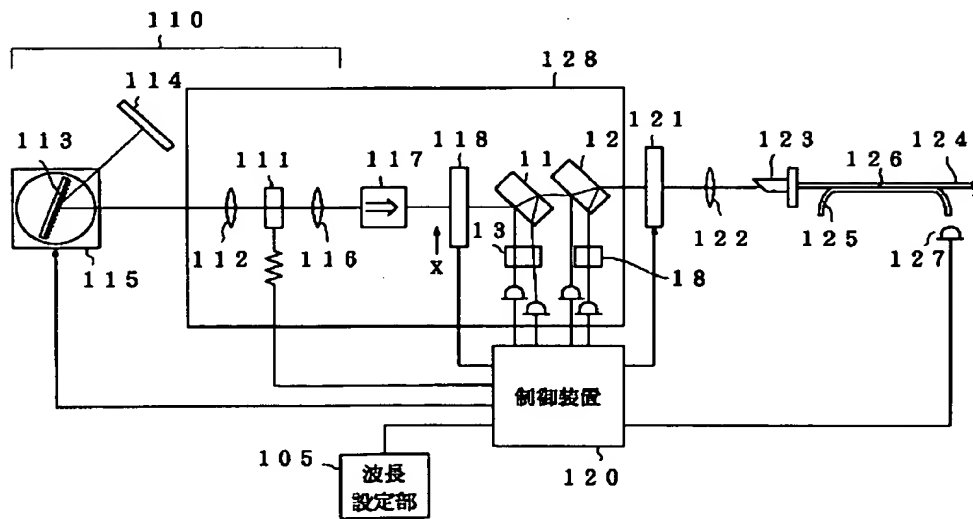
【図 13】



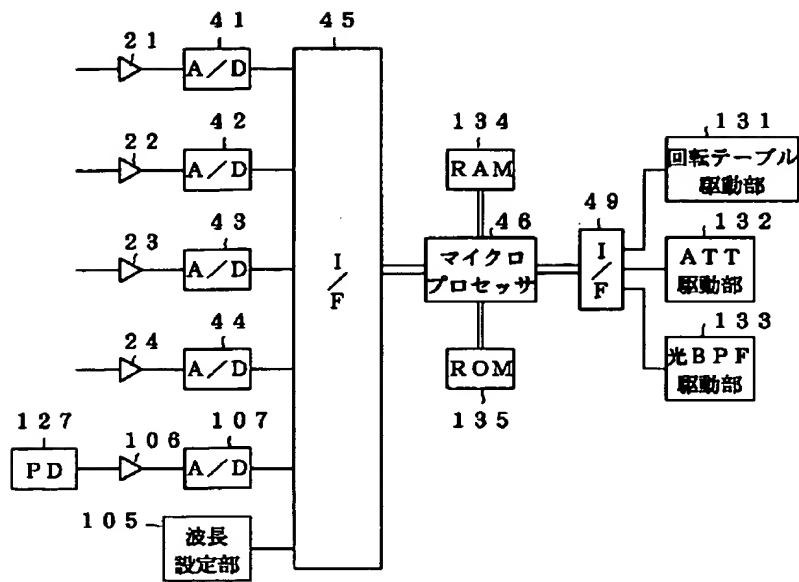
【図 14】



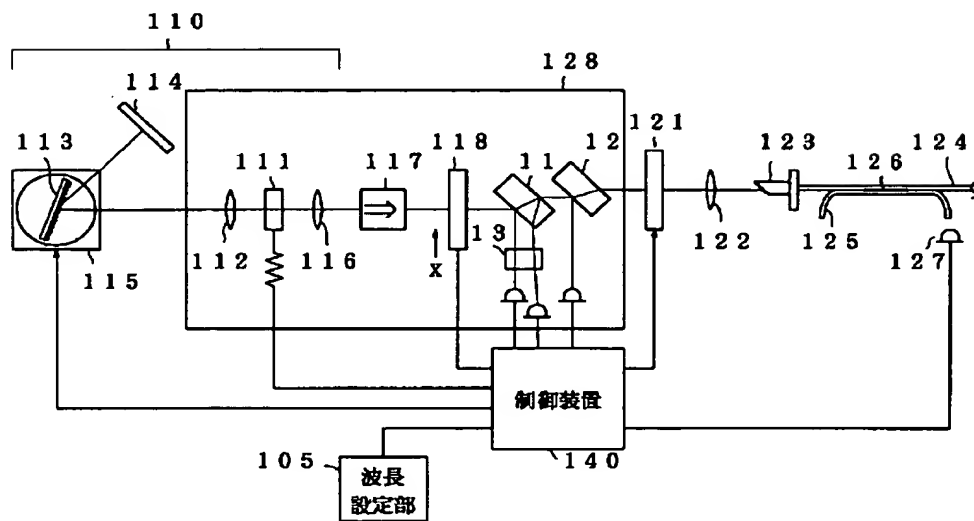
【図 15】



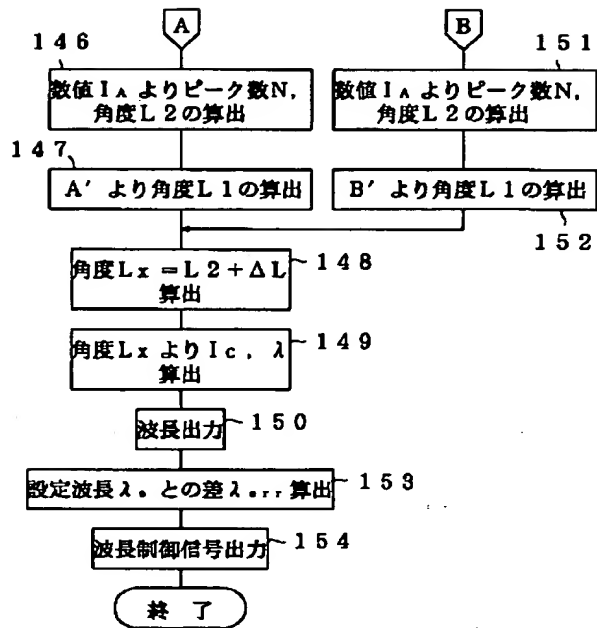
【図16】



【図17】



【図 19】



【図 20】

